



APLICACIONES DEL LIDAR EN LA RESTAURACIÓN FLUVIAL: SIMULACIÓN HIDRÁULICA Y EMPLEO DE RIC-DAR EN EL ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO Y DE VEGETACIÓN DE RIBERA

Roberto Martínez y Fernando Magdaleno

roberto.martinez@cirefluvial.com

CEDEX, Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas

Resumen

Hoy en día los nuevos desarrollos en teledetección permiten la mejora de la caracterización y gestión del entorno fluvial. Especial relevancia muestra el escaneo laser aerotransportado. Este sistema es conocido como LiDAR (Light Detection and Ranging) y desde sus orígenes ha mejorado de manera excepcional sus resultados tanto en la precisión espacial de los puntos obtenidos, su post-procesado como su clasificación. Todo ello con una reducción de los costes, ahora asumible para ser incorporado en los proyectos de restauración fluvial. Sin embargo, no ha sido hasta fechas recientes cuando han comenzado a aparecer referencias en este sentido. Dando continuidad a esta línea de investigación, en este trabajo se presenta el resumen de los avances en relación al papel que puede presentar la tecnología LiDAR en un proyecto de restauración fluvial.

Palabras clave: Simulación, hidromorfología, estado ecológico, LiDAR, inundaciones

Abstract

Nowadays the new developments in remote sensing have improved the characterization and management of fluvial environments. One special case of these technologies is the airborne laser scanning. This laser system is known as LiDAR (Light Detection and Ranging), which have widely improved their horizontal and vertical resolution with lower cost. Laser Scanning is an efficient technology for capturing geometric data. This paper shows the capabilities that LiDAR can supply in river restoration projects.

Key words: Simulation, hydromorphology, ecological status, LiDAR, floods

1. Introducción

En la presente comunicación se hace una puesta al día de las actuales tendencias de la tecnología LiDAR dentro de la restauración fluvial. Ha sido desde no hace más de cinco años cuando su empleo se ha extendido ampliamente en diferentes campos, presentando grandes potenciales en diferentes aspectos que forman parte de un proyecto de restauración fluvial.

Actualmente nuevos desarrollos en teledetección permiten la mejora de la caracterización y gestión del entorno fluvial. Especial relevancia muestra el escaneo laser aerotransportado. Este sistema es conocido como LiDAR (Light Detection and Ranging) y desde sus orígenes en los años 60-70 con fines militares ha mejorado de manera excepcional sus resultados tanto en la precisión espacial de los puntos obtenidos, su post-procesado como su clasificación. Todo ello con una reducción de los costes, ahora asumible para ser incorporado en los proyectos de restauración fluvial.

Sin embargo, no ha sido hasta fechas recientes cuando han comenzado a aparecer referencias en este sentido. En el año 2006 el Área de Ingeniería Ambiental del CEDEX realizó un estudio genérico de aplicabilidad del LiDAR en el medio fluvial: Magdaleno, F. & Martínez, R. 2006. Dando continuidad a esta línea de investigación, en este trabajo se presenta el resumen de los avances en relación al papel que puede presentar la tecnología LiDAR en un proyecto de restauración fluvial.

En los últimos tres años se ha desarrollado una aplicación informática, RiC-DAR, capaz de trabajar con diferentes formatos digitales. Especial importancia tiene el manejo de los datos conocidos como "las". Los datos "las" proceden de la nube de puntos capturada por el sensor, siendo datos reales y no modelizados, como ocurre con los MDT y MDS (modelo digital del terreno y superficie respectivamente). De esta manera se obtiene, de modo supervisado, diferentes variables relacionadas con la morfología y vegetación fluvial del río: bankfull, pendientes, altura de vegetación, continuidad de la vegetación de ribera tanto longitudinal, transversal y vertical, etc.



Dentro del conjunto de posibilidades existentes, se ha incorporado el cálculo del índice RFV (Magdaleno, F. *et al.*, 2010) para la evaluación del bosque de ribera del tramo. Se presentan algunos casos de estudio del empleo del RiC-DAR en diferentes tramos y morfologías de ríos.

También se hace una revisión mediante un caso práctico de la aplicación de estos datos en la simulación hidráulica, fundamental para la visualización de los resultados en la fase de estudio de alternativas de un anteproyecto.

2. Aplicaciones

2.1. Morfología fluvial

Dentro de las fases iniciales de los estudios de restauración fluvial tiene especial importancia la caracterización morfológica de los tramos. Es en esta fase donde la precisión que proporciona la topografía LiDAR toma especial importancia, pudiendo ser posible diferenciar entre diferentes estratos arbóreos y detectar morfologías perdidas o robadas en el pasado al río, como por ejemplo antiguos meandros ocupados por cultivos (ver figura-1).

La microtopografía del cauce influye de manera notable en el balance hídrico de estas zonas, afectando al equilibrio hidromorfológico del cauce, y modificando las condiciones ecológicas del medio. Por ejemplo, afecta de manera muy particular a la vegetación de ribera. En el caso de la llanura de inundación de un río, el microrrelieve es responsable de su conexión con el cauce, y del mantenimiento de relaciones tróficas en el conjunto del sistema fluvial.

La tecnología LiDAR permite analizar, de manera efectiva, la microtopografía de los ecosistemas fluviales, y estudiar su interacción con diferentes componentes de los mismos. Por lo que respecta al estudio del balance sedimentario, permite realizar también estimaciones detalladas de la acumulación de sedimentos en barras e islas a lo largo del cauce, y de los procesos erosivos desarrollados en él.

Las estimaciones del volumen de sedimentos acumulado en los cauces, permite valorar el impacto que los dragados tienen en éstos. Simulaciones hidráulicas en la confluencia de los ríos Arga y Aragón, realizadas en los escenarios de río con sedimentos y río dragado, han demostrado que su incidencia en la hidráulica de la avenida y caudales habituales es mínima, siendo el impacto ecológico y económico de gran magnitud (figura-2).

Figura 1. Meandro ocupado por cultivos. Puede verse en color azul claro zonas de menor cota difícilmente detectables con fotografía aérea. Este antiguo meandro ha sido ocupado por particulares siendo territorio que geomorfológicamente pertenece al río

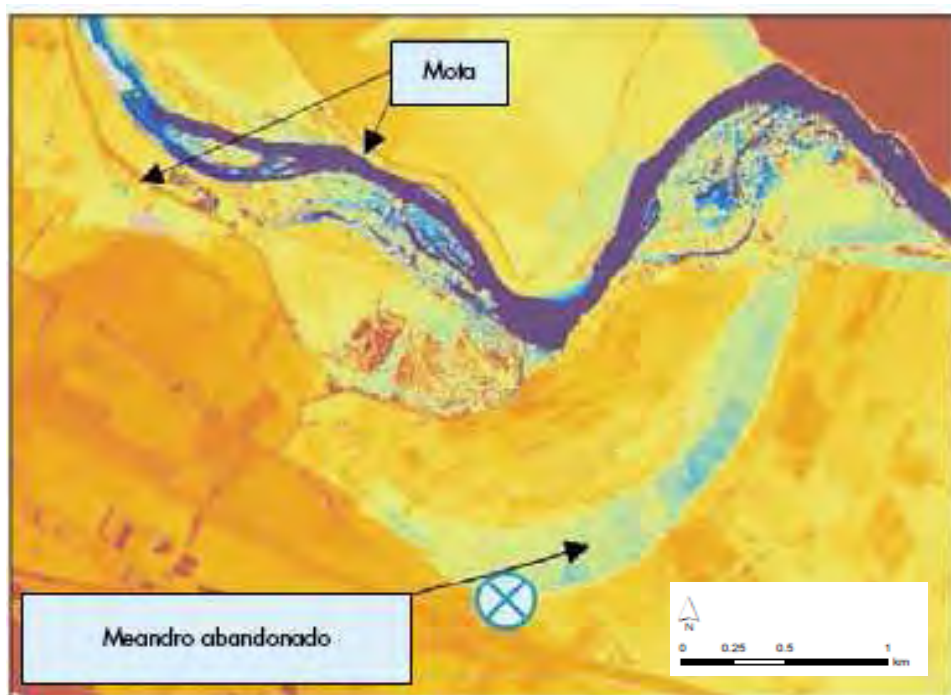
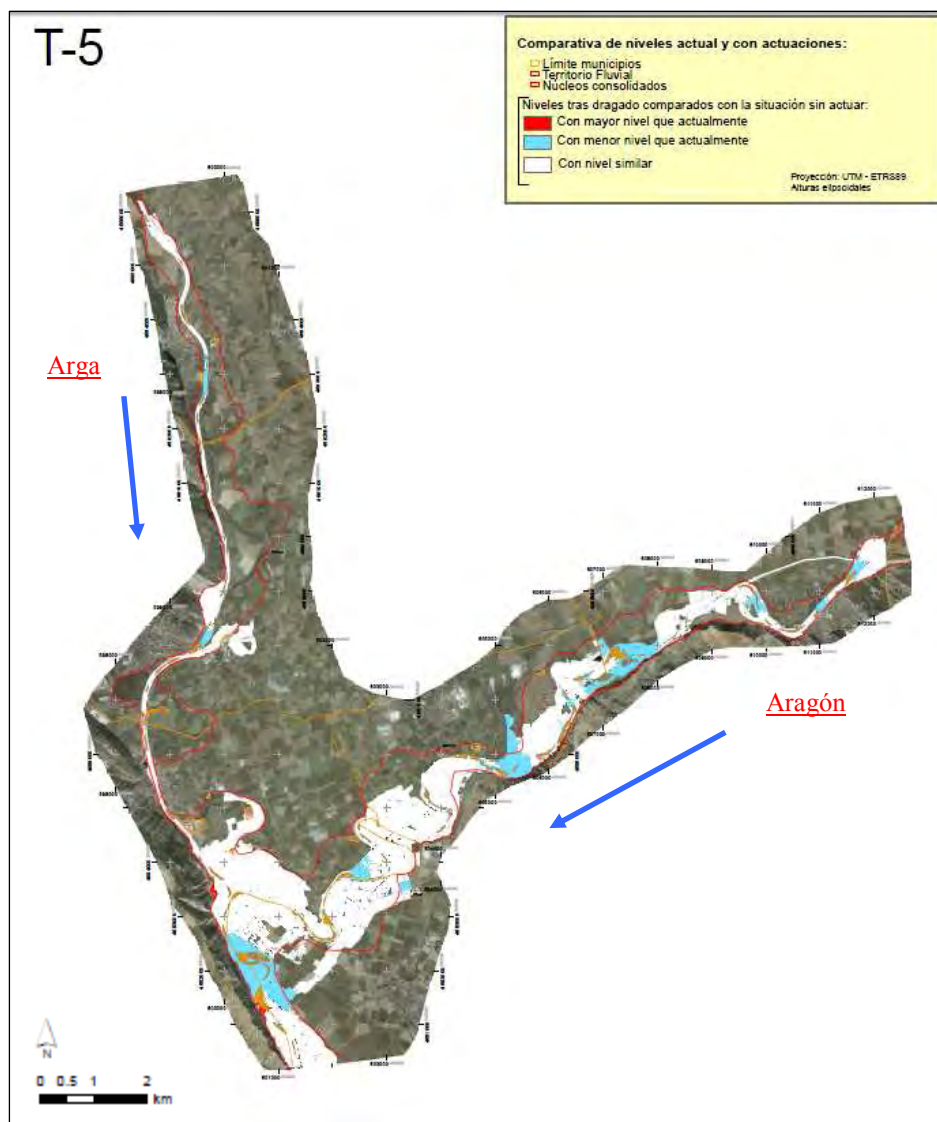




Figura 2. Estudio de niveles de la avenida de 5 años en la confluencia de los ríos Arga y Aragón, (Navarra). Los niveles mostrados muestran la comparativa del nivel sin dragar respecto al que tendría si se realiza el dragado



2.2. Modelos hidráulicos y proyectos de restauración

El uso del LiDAR y modelos dentro de los proyectos y anteproyectos de restauración fluvial apoya tres elementos fundamentales:

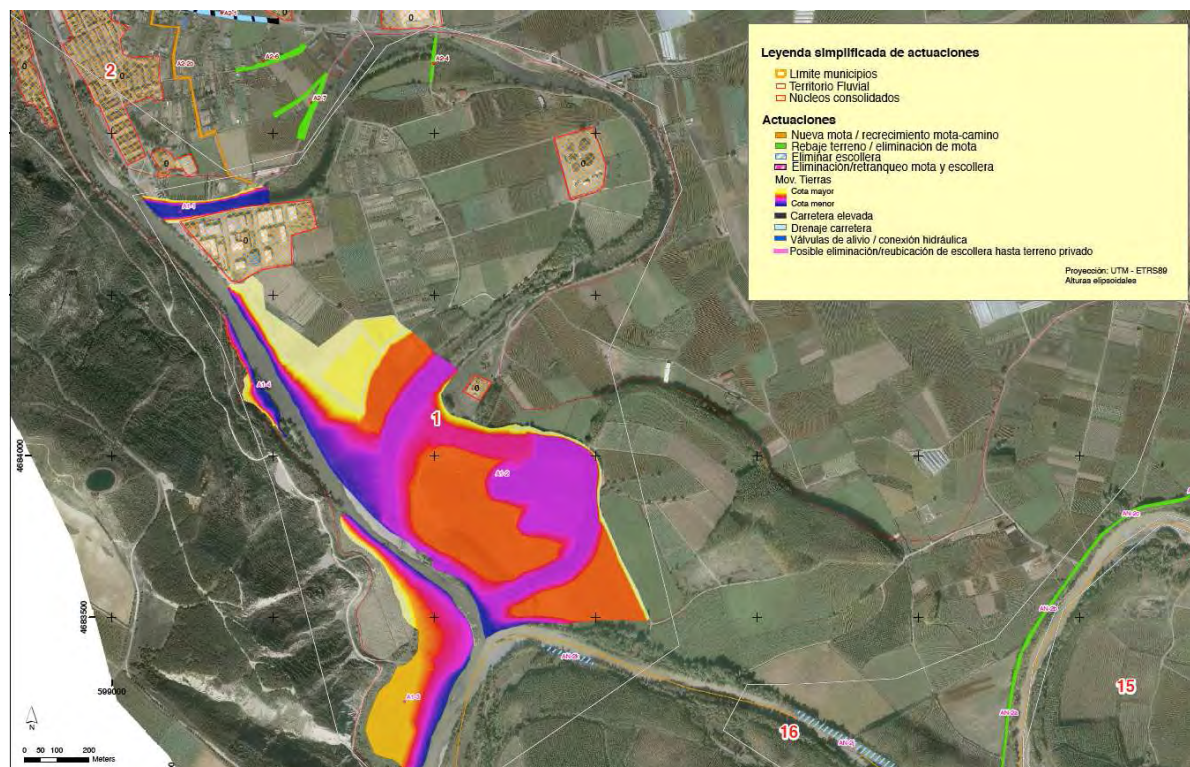
- Estudios de inundación: su elevada precisión x,y,z permite crear modelos del terreno por los que hacer correr un modelo hidráulico para realizar el estudio de las afecciones de diferentes avenidas. Estos modelos del terreno son aptos para emplear con garantías modelos hidráulicos en 2D que aportan importantes mejoras en la simulación de avenidas.
- Facilita el estudio de propuestas de actuaciones. Pudiendo simular diferentes escenarios de caudal-actuación. De esta manera pueden incorporarse al modelo las actuaciones propuestas en el modelo y simular diferentes avenidas, pudiendo evaluar la conveniencia de cada una de las propuestas de actuación.
- Permite apoyar estudios de idoneidad de hábitat a macroescala.

En la figura 3 se muestra el estudio de actuaciones propuestas en base a la topografía que proporciona el LiDAR dentro del tramo bajo del río Arga (Navarra). De este modo el LiDAR se convierte en una herramienta de gran ayuda



para valorar la relación entre los niveles de la llanura de inundación y los caudales circulantes, permitiendo realizar propuestas de actuación orientadas a la restauración fluvial (Wolman M.G. & Miller, J.P., 1960).

Figura 3. Propuestas de actuación en un tramo bajo del río Arga. Recuperación de la antigua topografía y brazos abandonados de un tramo rectifico



2.3. Vegetación de ribera

La aplicación de los datos LiDAR en el análisis de la vegetación riparia abre nuevas líneas de trabajo en la gestión de estas comunidades. La vegetación de ribera tiene, como elemento distintivo frente a otras comunidades vegetales, su carácter edafo-higrófilo. Es, por tanto, el régimen hidrológico el elemento básico que, con su variabilidad natural intra e interanual define el hidro-período de las especies vegetales de ribera. Especial importancia tiene la adaptación de las especies ibéricas a los ciclos hidrológicos mediterráneos (Salinas, M.J., Blanca, G., Romero, A.T. 2000).

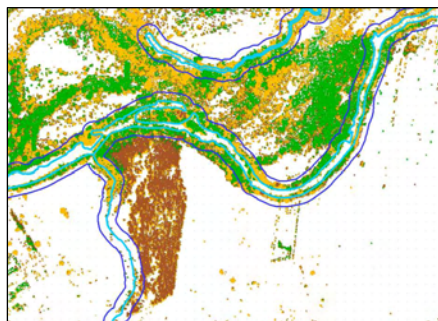
La posibilidad de generación de cartografía de detalle de la geomorfología fluvial mediante LiDAR, y las aplicaciones que su utilización presenta desde el punto de vista del estudio específico de las comunidades vegetales hace viable el uso de los datos LiDAR en la gestión y caracterización de los bosques de ribera.

El empleo de datos LiDAR permite, asimismo, el análisis de diferentes aspectos ecológicos del medio fluvial, relacionados con la vegetación de ribera, como el porcentaje de sombreado del cauce, o la entrada de restos vegetales en el cauce (Fleece, 2002). También abre nuevas posibilidades para el estudio de la distribución de especies exóticas en los cauces (Hall *et al.*, 2005).

La tecnología permite cuantificar otros parámetros en grandes superficies reduciendo el esfuerzo que exige el trabajo de campo, como se muestran en la figura 4.



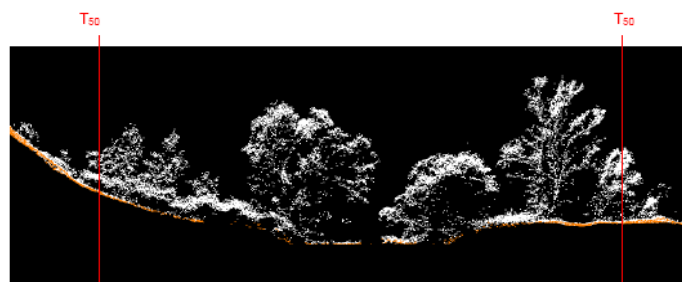
Figura 4. Caracterización de bandas ribereñas en función de la altura de la vegetación de ribera. La imagen muestra una imagen LiDAR en planta de un tramo del río Duero. La línea azul recoge la zona de evaluación de datos. En color verde se muestra la vegetación arbórea, en amarillo la arbustiva y en marrón choperas. Gracias a los datos LiDAR se puede hacer una valoración de la altura de diferentes estratos de vegetación dentro de bandas paralelas al cauce. Así en la tabla anexa se muestran diferentes percentiles de la altura de vegetación de ribera clasificada en arbustiva, arbolada y plantación (chopera)



Altura	Vegetación arbustiva	Plantación (chopera)	Vegetación arbórea
Percentil 25	0.9	0.8	3.7
Percentil 50	2.6	3.2	9.4
Percentil 75	4.9	8.1	13.9

Los vuelos de alta densidad desde helicóptero abren nuevas posibilidades debido a su alta resolución. Pudiendo mostrar al detalle diferentes parámetros de la vegetación y de la microtopografía de la llanura de inundación (figura 5).

Figura 5. Ejemplo de vuelo LiDAR a baja altura desde helicóptero



Uno de los desarrollos llevados a cabo en el Área de Ingeniería Ambiental del CEDEX ha sido la creación del índice RFV (Magdaleno, F. *et al.*, 2010) para evaluar el estado del bosque de ribera.

En paralelo al desarrollo conceptual del índice RFV se ha generado, con el apoyo de la empresa BLOM, una aplicación informática capaz, entre otras posibilidades, de valorar de modo cuasi-continuo el estado del bosque ripario mediante el índice RFV, la aplicación tiene el nombre de RiC-DAR.

Para ello se sirve de los datos de un vuelo LiDAR y las imágenes del vuelo aéreo obtenidas en ese mismo vuelo. Es conveniente que los datos LiDAR sean de alta densidad, como los que pueden obtenerse mediante helicóptero (fig. 5 y 6). Con estos datos y alguna visita de campo para ayudar a determinar la anchura de bankfull (Rosgen, D. 1996, Schmidt, L.J. & Potyondy, J.P., 2004) e interpretar la vegetación de ribera se está en disposición de hacer el análisis con la herramienta.

Ventajas de RiC-DAR:

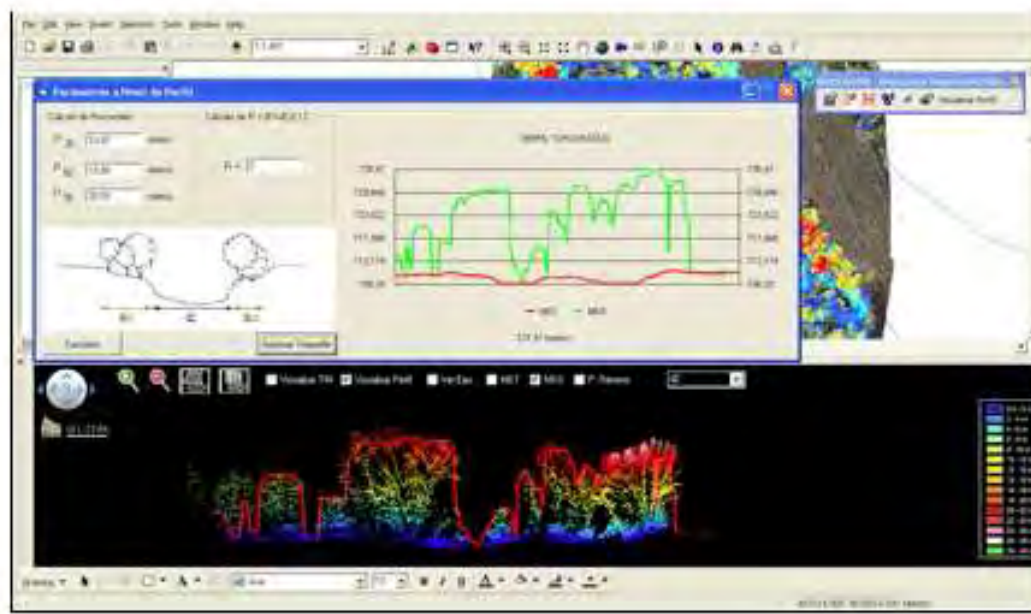
- Permite la valoración de tramos continuos de ríos con escaso apoyo de campo, evitando así el problema de asignación a un tramo de río del valor de un índice que ha sido calculado en un lugar representativo, pero concreto del río.
- La mayor parte del trabajo se realiza en gabinete, por lo que se ahorra en recursos y tiempo al reducirse el trabajo de campo.
- La información siempre la tenemos presente para revisión de manera continua a lo largo de todo el tramo.
- Se pueden comparar diferentes estados y características del tramo en el tiempo (con vuelos LiDAR realizados en diferentes fechas).
- Se pueden calcular otras variables fluviales asociadas a la vegetación de ribera.



Inconvenientes de RiC-DAR:

- Es preciso obtener datos LiDAR con densidad suficiente, preferiblemente volados con helicóptero, siendo más costosos que un vuelo ordinario.
- Aun siendo una aplicación optimizada para trabajar con datos LiDAR, el volumen de datos es elevado por lo que es preferible el uso de un equipo informático con recursos elevados, pero no limitante.

Figura 6. Imagen de la aplicación RiC-DAR



3. Conclusiones

La tecnología LiDAR es una herramienta con un gran potencial dentro de los proyectos de restauración fluvial.

La rápida obtención de resultados para amplias zonas de estudio facilita enormemente algunos de los puntos clave de los proyectos de restauración fluvial; algunos de estos elementos son:

- Caracterización previa del tramo: apoya enormemente los trabajos de caracterización morfológica del tramo. Facilita la obtención de índices que evalúan el estado de la vegetación de ribera.
- En la fase de redacción de actuaciones es posible realizar diferentes simulaciones para diferentes escenarios de caudal-propuesta de actuación. La incorporación de propuestas al modelo digital facilita su posterior simulación hidráulica. La resolución y continuidad espacial de los modelos generados permite el uso de modelos hidráulicos 2D.
- La fase de creación de toda la cartografía de inundaciones se facilita en gran medida.

Uno de los inconvenientes que presenta el LiDAR para el estudio del medio fluvial es su incapacidad para tomar datos del lecho del río cuando circulan caudales, ya que los equipamientos LiDAR habituales no contemplan la posibilidad de obtener batimetría, requiriendo de apoyo de topografía clásica que posteriormente se incorpora en el modelo. No obstante se está trabajando en la línea del LiDAR batimétrico, por el momento tiene aplicaciones en zonas costeras, pero será cuestión de tiempo incorporar estas cualidades en los equipos que vuelan tramos fluviales. Por tanto, hoy en día, esta tecnología se convierte en una herramienta de gran importancia para poder evaluar, contrastar y discutir diferentes alternativas con valores objetivos. Resultando de gran utilidad en los procesos de participación pública, en los que pueden discutirse diferentes borradores en base a simulación de escenarios. Sin este tipo de herramientas, cada uno de los estudios y/o escenarios, consumirían gran cantidad de recursos: económicos y tiempo, prologando enormemente la fase de redacción de proyectos.

Referencias

Magdaleno, F., Martínez, R. 2006. Aplicaciones de la teledetección laser (LiDAR) en la caracterización y gestión del medio fluvial. *Ingeniería Civil* 142 (Pág. 1-15)



Magdaleno, F., Martínez, R, Roch, V. 2010. Índice RFV para la valoración del estado del bosque de ribera. *Ingeniería Civil* 157: 85-96

Munne, A., Sola, C., Prat, N. 1998. QBR: Un índice rápido para la evaluación de la calidad de los ecosistemas de riberas. *Tecnología del Agua* 175: 20-37

Rosgen, D. 1996. *Applied River Morphology*. Wildland Hydrology, Pagosa Springs, Colorado.